

令和元年6月7日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00603

研究課題名（和文）脱硫及びコンクリート廃棄物を利用した砂漠化及び酸性土壌改良剤の開発

研究課題名（英文）Development of soil amendments with desulfurization and concrete wastes in desertification and acid soils

研究代表者

酒井 裕司（Sakai, Yuji）

工学院大学・先進工学部・准教授

研究者番号：40361513

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：砂漠化、酸性化により農業生産及び植生が衰退した劣化土壌を改良するため、脱硫及び建築廃棄物を利用した土壌改良剤の開発を行った。中国の砂漠化及び酸性土壌を対象とし、改良剤として、脱硫石膏、石炭バイオブリケット燃焼灰、コンクリート廃棄物、セメント微粉末、路盤材を利用した。各種改良剤の単体及び混合物にて砂漠化及び酸性化土壌でのコンクリート廃棄物、セメント微粉末、路盤材及び脱硫廃棄物で土壌改良可能な改良剤を開発し最適施用量を示せた。塩類土壌における建築廃棄物利用では化学性改良は出来たが、物理性改良に混合及び施用量での改善の必要性が示された。更に、新規混合改良剤中の重金属含量にて利用の可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界各地で深刻化している砂漠化、酸性化による植生地域の減少や農業生産低下の課題に対して、脱硫廃棄物として脱硫石膏以外に石炭とバイオマスを利用した民生用脱硫技術からの燃焼灰、またこれまで検討されたことのない建築廃棄物として、コンクリート廃棄物、セメント微粉末、路盤材を土壌改良剤として適用して検討した結果、改良利用における可能性を示せたことは今後の土壌改良技術や廃棄物利用において新たな知見を示しており学術的、社会的にも意義がある。また、本研究では中国を対象として検討したが、他の地域での技術としての普及の可能性も十分に有している。

研究成果の概要（英文）：Soil amendments with wastes from both desulfurization process and building demolition have developed in order to ameliorate desertification and acid soils that cannot achieve the normal agricultural production. Soil amendments such as desulfurization gypsum, coal bio-briquette ash, concrete waste, cement powder, roadbed material was used for ameliorating chemical and physical properties of salt-affected and acid soils in China. Amelioration in chemical properties in salt-affected and acid soils could be confirmed with single and mixed utilization of their soil amendments. In addition, the appropriate mixing ratio and application rate in salt-affected and acid soils was developed in this research. The necessity of investigating the detailed mixing ratio and application from the point of soil physical property was indicated in case of using concrete wastes. The heavy metal content in various soil amendments was under the control standards for pollutants in fly ash for agricultural use.

研究分野：環境工学

キーワード：塩類土壌 酸性土壌 土壌改良 脱硫廃棄物 コンクリート廃棄物 路盤材 重金属 廃棄物利用

1. 研究開始当初の背景

世界各地にて、砂漠化、土壌酸性化による植生及び農業生産可能地域の減少が深刻化している。砂漠化のなかでも土壌塩類化による被害は半乾燥地などを中心に拡大しており、また土壌酸性化も同様、農地などで問題が拡大しており、地下水汚染や重金属汚染などの二次被害も引き起こすため解決策が検討されている。本研究の対象地域である中国は、北部、西部に砂漠化土壌、南部に酸性土壌が広がっており、上記のような問題とともに、農地が不足しているという状況である。また中国では、大気汚染や廃棄物処理も深刻な問題となっている。申請者は、これまで中国における砂漠化、大気汚染、食料問題の同時解決技術として、脱硫廃棄物による砂漠化土壌改良を実践的に行ってきた。現在は、石炭火力発電所などからの脱硫石膏の利用用途拡大を検討しており、脱硫技術については、中小規模、民生用において更なる開発及び導入が必要な状況である。都市以外の未開発地域では、石炭以外のエネルギー利用も検討されているが、未だ低品位炭を利用している地域も多く存在する。そこで、本研究では、申請者がこれまで研究してきた民生用脱硫技術として石炭バイオブリケットの適用を検討した。石炭バイオブリケットは、石炭、バイオマス、脱硫剤を高圧成型した固形燃料であり、燃焼効率向上、脱硫性能向上、バイオマス利用などと多くの利点を有し、さらに燃焼灰による塩類土壌改良効果も確認出来ている。さらに中国では、近年の都市化に伴い、大量の建築・解体廃棄物が発生しており、発生量は都市における固体廃棄物の30~40%を占めている。その約三分の一はコンクリート廃棄物であり、今後も急速に増加すると予測されている。環境保全及び資源有効利用の観点から、再生粗骨材の利用が行われ始めているが利用率は低い状況であるため、今後の再利用技術の提案が求められている。上記のような研究背景のもと、本申請では、図1に示すようなコンセプトで研究を行う。

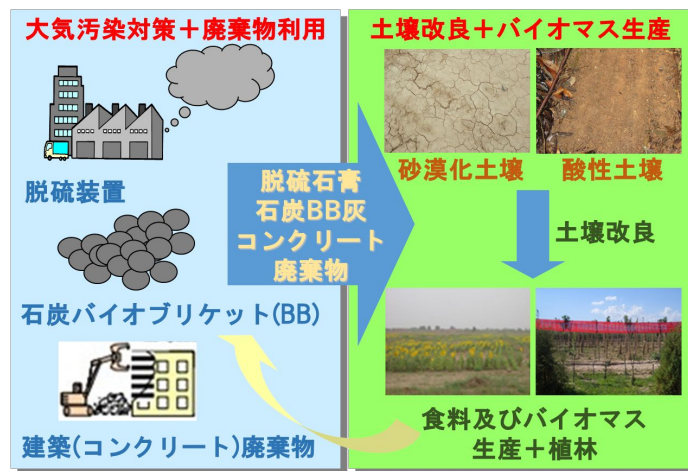


図1 脱硫及び建築廃棄物利用による砂漠化、酸性土壌改良コンセプト

2. 研究の目的

本申請では、発生量増加に伴い利用用途が模索されている脱硫石膏と、低品位炭、地域バイオマス利用にも効果的な民生用脱硫技術である石炭バイオブリケットの燃焼灰を、さらにこれまで土壌改良剤としての適用が検討されていないコンクリート廃棄物の利用に着目して、砂漠化土壌のみならず、農産物の生産量低下、重金属汚染の被害が深刻化している酸性土壌に対する新規改良剤の開発を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

改良対象土壌である塩類土壌と酸性土壌において土壌化学性、土壌物理性に関する測定と各種改良剤である脱硫石膏、石炭バイオブリケット燃焼灰、コンクリート廃棄物、セメント微粉末、路盤材における種類別、粒径別での溶出試験後、土壌改良剤としての施用量を決定し、塩類土壌、酸性土壌における改良効果を検討した。

(1) 土壌特性測定及び改良剤溶出試験

改良対象の塩類土壌は土壌溶液(1:5(重量比))作製後、pH、電気伝導度(EC)、交換性ナトリウム率(ESP)、水溶性及び交換性陽イオン(Na、Ca、Mg、K)濃度、陰イオン(CO₃、HCO₃、SO₄、Cl)濃度を測定し、その他、粒度測定、飽和透水係数測定を行った。酸性土壌では、土壌溶液(1:2.5(重量比))作製後、pH、EC、水溶性及び交換性陽イオン(Na、Ca、Mg、K)濃度、交換性Al濃度を測定した。また各種改良剤(コンクリート廃棄物、路盤材)の粒径別(WC(0.2-0.6、0.6-1.0、1.0-2.0、2.0-4.75 mm)RBMを粒径別(<0.2、0.2-0.6、0.6-1.0、1.0-2.0、2.0-4.75 mm)溶出試験は6時間行い、1時間ごとにpH、EC、水溶性及び交換性陽イオン(Na、Ca、Mg、K)濃度を測定した。

(2) 塩類土壌における化学性改良評価

改良剤溶出試験におけるCa濃度から脱硫石膏でのCa濃度を基準として施用量を決定し、各種改良剤を段階的に増加した施用量で混合後、土壌溶液(1:5(重量比))を作製し、4時間振とう後

の pH、EC、水溶性及び交換性陽イオン(Na、Ca、Mg、K)濃度を測定した。各種イオン濃度は ICP-AES にて測定した。

(3) 塩類土壌における物理性改良評価

コンクリート廃棄物、路盤材施用にて飽和透水係数測定(変水頭法)を行った。施用量は 0.5、1.0、1.5 wt%とし、初期浸潤過程における透水係数も算出した。またコンクリート廃棄物(粒径 0.2-0.6 mm)1.0 wt%施用にて、土壌改良初期過程の塩類リーチング特性を調べた。脱硫酸石膏、石炭バイオブリケット燃焼灰での施用時の特性と比較するため、カラム浸透試験(内径 5 cm、高さ 10 cm)にてカラム下部からの排出液中の pH、EC、陽イオン(Na、Ca、Mg、K)濃度の測定を行った。

(4) 酸性土壌における単体及び混合改良剤での化学性改良評価

酸性土壌に各種改良剤(石炭バイオブリケット燃焼灰 3 種、脱硫酸石膏(湿式、半乾式)、セメント微粉末、コンクリート廃棄物 2 種(粒径別))を各施用量で混合後、改良土壌溶液(1:2.5(重量比))を作製し、3. (1)と同様、土壌化学性を測定した。さらに各種改良剤の混合改良剤(石炭バイオブリケット燃焼灰 2 種にセメント微粉末、コンクリート廃棄物 2 種を混合)により最適施用量の検討を行った。

(5) 新規混合改良剤における重金属評価

新規混合改良剤中の重金属(Cd、Pb、Cu、Zn、Ni)定量測定では、塩酸、硝酸、フッ化水素酸、過塩素酸による全分解法で分解後、ICP-AES で測定した。

4. 研究成果

(1) 土壌特性測定及び改良剤溶出試験

改良対象とした塩類土壌の土壌化学性は、pH 10.4、EC 2.4 dS/m、ESP 56.4 %、酸性土壌は、pH 4.1、EC 0.1 dS/m、交換性 Al 2.1 cmol/kg であった。各種改良剤(A:セメント微粉末、コンクリート廃棄物 2 種(粒径別 B(2.36 mm)、C (4.75 mm))、D: 湿式脱硫酸石膏)の溶出特性として、pH では、セメント微粉末、コンクリート廃棄物では約 12 と湿式脱硫酸石膏の約 7 よりも高い値を示し(図 2)、EC では、コンクリート廃棄物が約 6 dS/m と脱硫酸石膏、セメント微粉末の約 2 dS/m 他と比較して高い値を示した(図 3)。また各改良剤にて pH は開始後から 6 時間までほぼ一定値を示し(図 2)、EC、Ca 濃度では 4 時間以降で一定値をとる傾向を示した(図 3)。

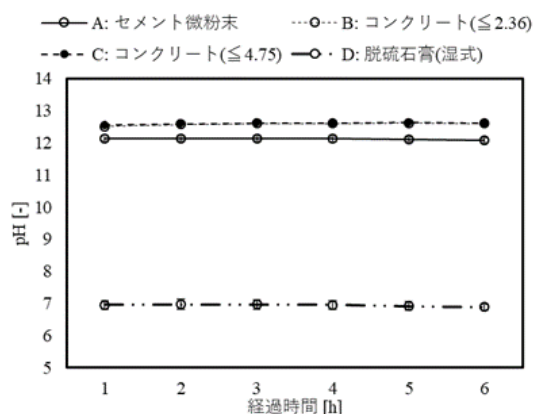


図 2 各種改良剤の時間経過に伴う pH 変化

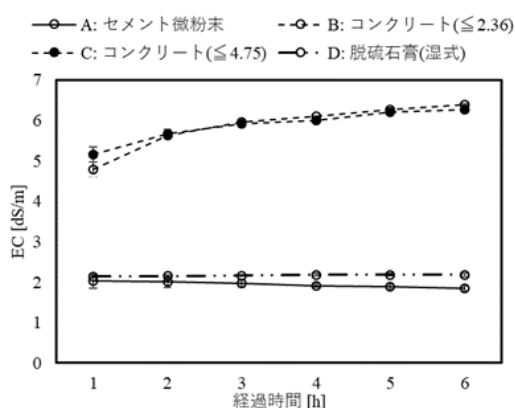


図 3 各種改良剤の時間経過に伴う EC 変化

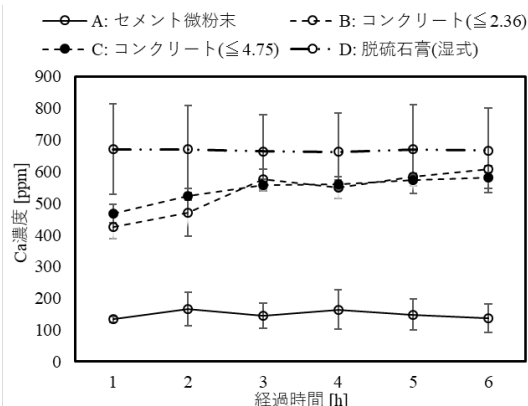


図 4 各種改良剤の時間経過に伴う Ca 溶出量変化

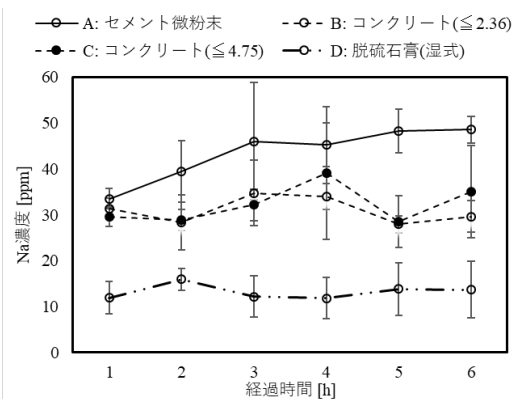


図 5 各種改良剤の時間経過に伴う Na 溶出量変化

EC 値及び Ca 溶出量においては、湿式脱硫石膏と比較して、セメント微粉末、コンクリート廃棄物では低い値を示した(図 3, 4)。両者ともに、セメント微粉末よりもコンクリート廃棄物で高い値を示し、またコンクリート廃棄物では小粒径の方が高い値であった(図 3, 4)。Na 溶出量では脱硫石膏が低く、セメント微粉末がコンクリート廃棄物よりも高濃度であった(図 5)。また路盤材でも同様に、小粒径であるほど Ca 濃度は高い値を示したが、同粒径でコンクリート廃棄物と比較すると、約 1/4 であった。

(2) 塩類土壌における化学性改良評価

各種改良剤(A:セメント微粉末、コンクリート廃棄物2種(粒径別 B(2.36 mm), C (4.75 mm)), D: 湿式脱硫石膏)を塩類土壌に、湿式脱硫石膏 0.5 wt%施用基準にあわせて施用した結果、pH は改良前土壌とほぼ変わらなかったが、EC、ESP は大幅に減少したこと(図 6, 7)、過剰に含有していた Na を取り除くことが出来、土壌改良効果を確認した。また pH においては時間経過に伴う減少傾向を確認することが出来た。

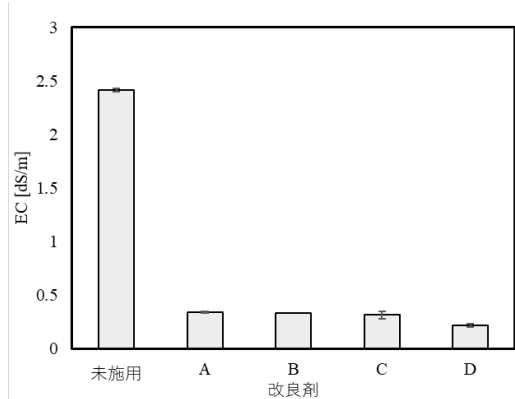


図 6 各種改良剤施用による土壌 EC 改良効果

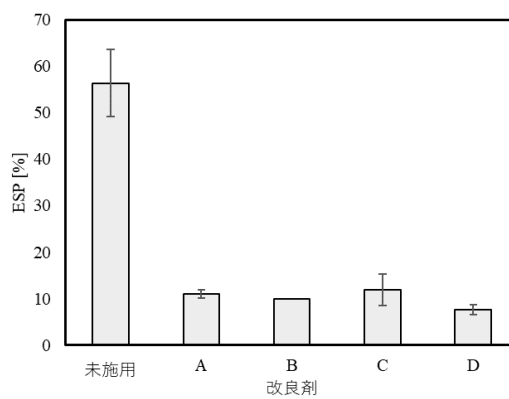


図 7 各種改良剤施用による土壌 ESP 改良効果

次に、湿式脱硫石膏(A)、セメント微粉末(B)、コンクリート廃棄物(C: 0.2-0.6, D: 0.6-1.0, E: 1.0-2.0, F: 2.0-4.75 mm)、路盤材(G: 0.2, H: 0.2-0.6, I: 0.6-1.0, J: 1.0-2.0, K: 2.0-4.75 mm)における土壌改良効果を比較した。化学性では、施用量増加に伴う ESP 変化より、WDG では 0.50 wt% で ESP が最も低下し、施用量増加に伴い ESP も徐々に上昇し、0.50~0.99 wt% では改良目標の ESP 10 % 以下となった(図 8)。コンクリート廃棄物も同様の傾向が見られたが、すべての施用量で ESP 10 % 以下とならなかった(図 8)。またコンクリート廃棄物では小粒径ほど ESP が減少したため、小粒径ほど効果が高い傾向が示された。RBM は小粒径の改良剤 G, H では施用量を増加しても ESP において変化がなかったが、粒径の大きい I~K では施用量を増加すると ESP が低下する傾向にあった(図 8)。また、3 週目、6 週目と改良剤施用後の ESP における変化では、脱硫石膏含め、3 週目で増加し、その後、減少する傾向が確認された(図 9)。

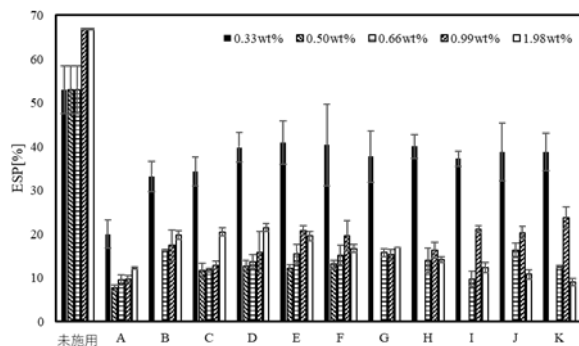


図 8 各種改良剤施用による土壌 ESP 改良効果

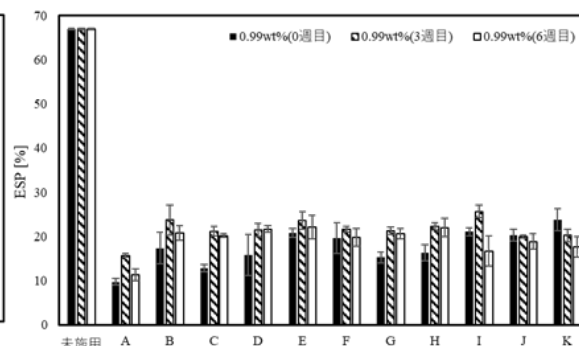


図 9 各種改良剤施用による土壌 ESP 経時変化

(3) 塩類土壌における物理性改良評価

塩類土壌にコンクリート廃棄物、路盤材(粒径: 0.2-0.6 mm)1.0 wt%施用することにより、湿式脱硫石膏と同程度の飽和透水係数を得たことで、土壌物理性の改善効果を確認出来た。しかし、塩類リーチング試験において、改良時間の経過に伴い、透水性低下の影響が確認されたことから施用量を決定する際には、化学性以外にも物理性の視点からの検討の必要性が示された。

(4) 酸性土壌における単体及び混合改良剤での化学性改良評価

酸性土壌における石炭バイオブリケット燃焼灰 2 種(BB1、BB2)の施用では、土壌 pH におい

て改良基準目標 pH(5.5~7.0)に達することは出来なかったため、セメント微粉末、コンクリート廃棄物の混合を検討した。その結果、混合量増加に伴う pH 上昇が見られた(図 10)。同じ施用量では、BB1 混合の方が BB2 混合より若干高めの傾向であった(図 10)。混合した石炭バイオブリケット燃焼灰が同一の改良剤と比較すると、コンクリート廃棄物が小粒径のものほど少ない施用量で pH の改善効果を示した。これは交換性カルシウムの溶出量に起因していると考えられる。また EC では単体で施用した時と比較するとやや高い値を示した。また塩基バランスについては、バイオブリケット燃焼灰の単体施用時より Ca が増加したことで CaO は良好値に近づき、BB2 利用の際には、K₂O も基準に達した。更に、施用量増加に伴い、pH 上昇が起こったことにより交換性 Al 濃度が著しく低下し基準値(2 cmol/kg)を大幅に下回った(図 11)。

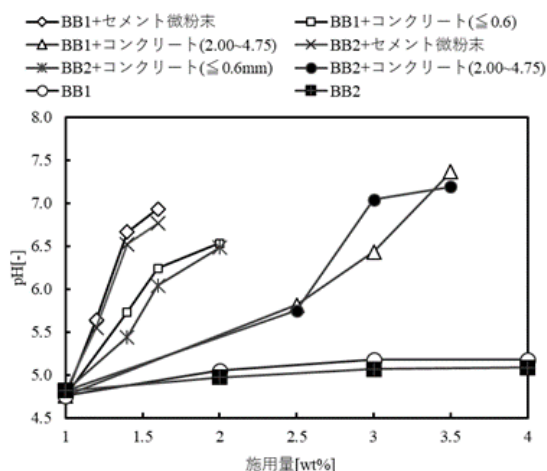


図 10 各種改良剤施用による土壌 pH 変化

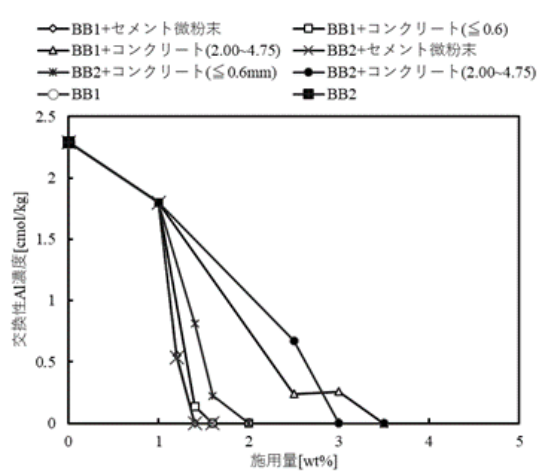


図 11 各種改良剤施用による交換性 Al 濃度変化

(5) 新規混合改良剤における重金属評価

脱硫廃棄物以外にも、コンクリート廃棄物、セメント微粉末、路盤材及びこれらの新規混合改良剤中における重金属(Cd、Pb、Cu、Zn、Ni)含有量は中国における土壌改良剤における基準値以下の値を示したことから、本研究にて使用した各種改良剤は使用可能であることが確認出来た。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- (1) Yuji Sakai, Atsushi Okada, Masaya Kato, Chang Wang, Effect of cement fine powder and waste concrete particle on chemical properties of salt-affected soil in China, Journal of Arid Land Studies, (査読有), 28-S, 123-126, 2018 (DOI : 10.14976/jals.28.S_123)

〔学会発表〕(計 10 件)

- (1) Yuji Sakai, Masataka Nakamura, Hironori Murata, Chie Ebato, Chang Wang, Afforestation and agricultural production through salt-affected soil amelioration with coal bio-briquette ash in China, 4th World Congress on Agroforestry, Montpellier, France, May 21, 2019
- (2) Yuji Sakai, Environmental evaluation on soil amelioration using desulfurization gypsum and waste concrete in China, The 9th Japan-China Symposium on Chemical Engineering, March 15, 2019
- (3) Yuji Sakai, Chang Wang, Acid Soil Amelioration using Coal Bio-briquette Ash and Waste Concrete in China, ICASM 2018: 20th International Conference on Agricultural Soil Management, Madrid, Spain, March 26, 2018 (Best Presentation Award)
- (4) Yuji Sakai, Atsushi Okada, Masaya Kato, Hiroki Shiga, Chang Wang, Effect of Waste Concrete on Chemical Properties of Salt-affected Soil in China, Desert Technology XIII (DT13)/The 3rd International Conference on Arid Land (ICAL3), India, March 14, 2018
- (5) Yuji Sakai, Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Wet Lands, 3rd International Conference on Chemical Processes, Horticulture & Environmental Engineering (CPHEE-2017), London, March 23, 2017 (Keynote Lecture)
- (6) Yuji Sakai, Zhaojun Sun, Chang Wang, Evaluation of Soil Chemical Properties in Salt-affected and Acid Soil Amelioration with Desulfurization Gypsum and Waste Concrete in China, 3rd International Conference on Chemical Processes, Horticulture & Environmental Engineering (CPHEE-2017), London, March 23, 2017
- (7) 松本亜美流, 古賀崇, 青木容, 光明賢太郎, 酒井裕司, 脱硫及びコンクリート廃棄物利用による中国酸性土壌改良効果の検討, 化学工学会第 82 年会, 芝浦工業大学, 2017 年 3 月 7

日

- (8) 松本亜美流, 酒井裕司, 脱硫及びコンクリート廃棄物を利用した中国酸性土壌の改良評価, 3rd Innovation Forum of Advanced Engineering and Education (IFAEE), 工学院大学, 2016年11月2日
- (9) 松本亜美流, 古賀崇, 青木容, 光明賢太郎, 酒井裕司, 脱硫及びコンクリート廃棄物を利用した中国酸性土壌の改良評価, 化学工学会第48回秋季大会, 徳島大学, 2016年9月6日
- (10) Yuji Sakai, Salt-affected and Acid Soil Amelioration with Desulfurization Gypsum and Waste Concrete in China, International Conference on Conservation Agriculture and Sustainable Land Uses, Budapest, Hungary, May 31, 2016

〔図書〕(計0件)

該当なし

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

該当なし

○取得状況(計0件)

該当なし

〔その他〕

研究者情報

<https://er-web.sc.kogakuin.ac.jp/Profiles/7/0000658/profile.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 王 昶 (天津科技大学)

ローマ字氏名: Chang WANG

研究協力者氏名: 孫 兆軍 (寧夏大学)

ローマ字氏名: Zhaojun SUN

研究協力者氏名: 陳 文清 (四川大学)

ローマ字氏名: Wenqing CHEN

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。